BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan industri, dan transformasi teknologi menuju era elektrifikasi. Kondisi ini menuntut adanya sistem penyimpanan energi yang tidak hanya memiliki kapasitas tinggi, tetapi juga mampu memberikan kinerja cepat, efisien, dan ramah lingkungan. Salah satu perangkat yang banyak mendapat perhatian adalah superkapasitor, yang dikenal memiliki kelebihan berupa densitas daya tinggi, waktu pengisian yang cepat, serta siklus hidup yang jauh lebih panjang dibandingkan baterai konvensional. Namun demikian, performa superkapasitor sangat ditentukan oleh material elektroda yang digunakan, sehingga pengembangan material elektroda menjadi aspek kunci dalam riset penyimpanan energi *(Garcia, et al*., 2024).

Material berbasis karbon, khususnya karbon aktif, merupakan kandidat utama untuk elektroda superkapasitor karena memiliki luas permukaan tinggi dan struktur berpori yang mendukung proses penyimpanan muatan. Berbagai penelitian sebelumnya menggunakan aktivator kimia kuat seperti KOH, NaOH, H_3PO_4, atau $ZnCl_2$ untuk menghasilkan karbon berpori. Aktivator tersebut terbukti mampu meningkatkan luas permukaan spesifik dan porositas, tetapi penggunaannya menimbulkan sejumlah permasalahan harganya relatif mahal, bersifat korosif, berpotensi mencemari lingkungan, serta menimbulkan kesulitan dalam pengelolaan limbah. Kondisi ini menimbulkan gap antara kebutuhan material elektroda yang optimal dengan harapan akan proses sintesis yang lebih ramah lingkungan (Dong, Pan, Ji, Ren, & lei, 2024).

Sejalan dengan tren *green chemistry*, berbagai penelitian mulai mengalihkan fokus pada pemanfaatan bahan alami dan limbah pertanian sebagai sumber karbon maupun sebagai aktivator alternatif. Beberapa studi menunjukkan bahwa asam organik dari buah dapat dimanfaatkan untuk memodifikasi struktur karbon, misalnya penggunaan belimbing wuluh sebagai adsorben. Namun, hingga saat ini penelitian mengenai pemanfaatan jeruk nipis (*Citrus aurantiifolia*) dan belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) sebagai aktivator alami untuk sintesis karbon berpori, khususnya

dalam aplikasi elektroda superkapasitor, masih sangat terbatas dan bahkan belum pernah dilaporkan secara sistematis.

Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar, salah satunya adalah tongkol jagung yang melimpah sebagai limbah pertanian. Khususnya di Tapanuli Utara, jagung merupakan komoditas yang banyak dihasilkan, namun limbah tongkolnya belum termanfaatkan secara optimal dan umumnya hanya dibuang atau digunakan secara sederhana. Padahal, tongkol jagung memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga sangat potensial dijadikan bahan baku karbon aktif. Pemanfaatan tongkol jagung sebagai material elektroda bukan hanya menawarkan solusi teknis dalam bidang energi, tetapi juga mendukung ekonomi sirkular dengan mengubah limbah menjadi produk bernilai tambah. Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan aktivator kimia seperti KOH, NaOH, H_3PO_4, dan $ZnCl_2$ dalam pembuatan karbon aktif dari biomassa, termasuk tongkol jagung. Aktivator-aktivator tersebut terbukti mampu menghasilkan karbon dengan ukuran makro pori (≥ 50 nm) dan struktur makropori yang mendukung aplikasi superkapasitor. Namun, seluruh penelitian tersebut masih mengandalkan proses aktivasi kimia yang bersifat korosif, tidak ramah lingkungan, serta menghasilkan limbah berbahaya seperti larutan basa/asam pekat yang sulit ditangani. Di sisi lain, studi mengenai aktivasi menggunakan asam organik alami (jeruk nipis atau belimbing wuluh) masih terbatas dan belum diarahkan pada aplikasi elektroda. Jurnal-jurnal sebelumnya hanya menggunakan bahan ini untuk adsorben, bukan untuk superkapasitor. Selain itu, belum ada penelitian yang secara sistematis mengkaji bagaimana variasi konsentrasi asam organik alami mempengaruhi morfologi pori biochar tongkol jagung. Inilah celah penelitian (*research gap*) yang menjadi landasan utama penelitian ini.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa aktivasi kimia konvensional menghasilkan karbon berpori dengan karakteristik yang sesuai untuk elektroda (Garcia, *et al.*, 2024). Namun, kelemahannya adalah penggunaan bahan kimia berbahaya yang tidak ramah lingkungan. Sebaliknya, beberapa penelitian berbasis *green chemistry* menunjukkan potensi penggunaan bahan alami, tetapi belum terfokus pada aplikasi elektroda superkapasitor (Hatibie, Aladin, & Ifa, 2022). Hal ini menegaskan adanya gap penelitian, jeruk nipis dan belimbing wuluh sebagai aktivator

alami untuk biochar tongkol jagung belum pernah dikaji dalam konteks material elektroda superkapasitor.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan tongkol jagung lokal dari Tapanuli Utara sebagai sumber karbon yang diaktivasi menggunakan jeruk nipis dan belimbing wuluh sebagai *green activator*. Sebelum digunakan sebagai aktivator, ekstrak jeruk nipis dan belimbing wuluh diuji menggunakan titrasi asam–basa untuk menentukan nilai normalitas dan keasaman totalnya. Pengujian ini penting karena tingkat keasaman aktivator mempengaruhi efektivitas proses aktivasi karbon, khususnya dalam membuka pori dan memodifikasi struktur permukaan. Dengan mengetahui konsentrasi asam masing-masing ekstrak, proses aktivasi dapat dilakukan secara lebih terkontrol dan terukur. Proses karbonisasi dilakukan menggunakan furnace, sedangkan karakterisasi dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis morfologi pori dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi permukaan akibat proses aktivasi alami. Selain itu, untuk mengidentifikasi sampel dengan kualitas listrik terbaik sebelum dilakukan karakterisasi lanjutan, penelitian ini juga menerapkan uji Resistansi sebagai metode *screening* awal. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian elektroda karbon untuk memperoleh informasi awal terkait konduktivitas dan resistansi material, sehingga karakterisasi SEM dan FTIR dapat difokuskan hanya pada sampel yang paling potensial. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu menunjukkan perkembangan struktur pori biochar akibat variasi jenis dan konsentrasi aktivator alami, sehingga dapat menunjukkan potensi penggunaan aktivator alami sebagai bahan aktivasi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan aktivator kimia konvensional.

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada bidang fisika material, khususnya dalam memahami hubungan antara proses aktivasi, struktur morfologi pori, dan potensi hasil karakterisasinya sebagai material elektroda superkapasitor. Selain itu, penelitian ini juga memiliki nilai kebaruan berupa kombinasi pemanfaatan limbah pertanian lokal dengan aktivator alami berbasis buah, sehingga mendukung pengembangan material energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di paparkan diatas, maka identifikasi masalah yang telah di dapat, antara lain:

1. Penggunaan aktivator kimia pada pembuatan karbon aktif masih menimbulkan dampak lingkungan yang berbahaya.
2. Pemanfaatan bahan alami seperti jeruk nipis dan belimbing wuluh sebagai aktivator karbon aktif belum banyak diteliti, khususnya untuk aplikasi elektroda superkapasitor.
3. Limbah tongkol jagung di Tapanuli Utara belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber bahan karbon bernilai tinggi.

1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini:

1. Penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan limbah pertanian lokal berupa tongkol jagung dari wilayah Tapanuli Utara sebagai bahan karbon yang diolah melalui proses karbonisasi dan diaktivasi menggunakan bahan alami jeruk nipis serta belimbing wuluh.
2. Analisis hasil penelitian dilakukan melalui karakterisasi morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan analisis gugus fungsi permukaan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengetahui pengaru aktivasi alami terhadap struktur dan komposisi permukaan biochar.
3. Penelitian ini dilaksanakan pada skala laboratorium dengan ruang lingkup terbatas pada hubungan antara proses aktivasi alami dan karakteristik fisik–kimia biochar sebagai dasar pengembangan material elektroda ramah lingkungan di masa mendatang.

1.4. Batasan Masalah

Masalah penelitian dibatasi pada:

1. Bahan karbon yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada tongkol jagung lokal yang berasal dari wilayah Tapanuli Utara.
2. Aktivator yang digunakan hanya berupa bahan alami, yaitu jeruk nipis dan belimbing wuluh, sebagai sumber asam organik dalam proses aktivasi.
3. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 450 °C, sedangkan proses aktivasi dilaksanakan pada suhu 300 °C menggunakan furnace.
4. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis morfologi pori dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi permukaan biochar hasil aktivasi.
5. Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh aktivasi alami terhadap sifat morfologi dan kimia permukaan biochar sebagai dasar pengembangan material elektroda ramah lingkungan.

1.5. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan dalam latar belakang, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tahapan sintesis biochar dari tongkol jagung lokal melalui proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan ekstrak jeruk nipis serta belimbing wuluh dengan rasio masing-masing sebesar 10%, 30% dan 50%?
2. Bagaimana pengaruh ekstrak jeruk nipis dan belimbing wuluh terhadap morfologi pori dan gugus fungsi permukaan biochar tongkol jagung berdasarkan hasil karakterisasi SEM dan FTIR?
3. Bagaimana nilai Resistivitas dari biochar hasil aktivasi jeruk nipis dan belimbing wuluh, dan apakah sampel dengan Resistivitas terbaik menunjukkan karakteristik morfologi dan gugus fungsi yang mendukung potensinya sebagai material elektroda ramah lingkungan?

1.6. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui tahapan sintesis biochar dari tongkol jagung lokal melalui proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan ekstrak jeruk nipis serta belimbing wuluh dengan rasio masing-masing sebesar 10%, 30% dan 50%.
2. Untuk mengetahui pengaruh ekstrak jeruk nipis dan belimbing wuluh terhadap morfologi pori dan gugus fungsi permukaan biochar tongkol jagung berdasarkan hasil karakterisasi SEM dan FTIR.
3. Untuk mengetahui nilai Resistivitas dari biochar hasil aktivasi jeruk nipis dan belimbing wuluh, dan apakah sampel dengan Resistivitas terbaik menunjukkan karakteristik morfologi dan gugus fungsi yang mendukung potensinya sebagai material elektroda ramah lingkungan.

1.7. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu

1. Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu fisika material dan *green chemistry*, khususnya mengenai hubungan antara proses aktivasi alami dan struktur pori biochar sebagai bahan elektroda.
2. Secara praktis, penelitian ini menawarkan metode aktivasi ramah lingkungan menggunakan bahan alami yang mudah diperoleh dan murah sebagai alternatif pengganti aktivator kimia sintetis.
3. Secara sosial dan ekonomi, penelitian ini mendorong pemanfaatan limbah pertanian lokal seperti tongkol jagung untuk menghasilkan produk bernilai tambah yang mendukung konsep ekonomi sirkular dan energi berkelanjutan.